

CHiCK-2000 プロジェクトの活動の纏め

○吉川俊明((株)浅沼組)

坂本慎介(三菱電機株)

堀琴乃(東陶機器(株))

アクティブギャルズは、女性パイロットによる旋回飛行を目指して活動している。2000年11月に女性パイロットでは世界で初めて、ストレススキン翼の人力飛行に成功した。ここでは、8年間の活動を纏めて報告する。

OHP-1

我々のチームでは、活動の一環としてその年の成果を当シンポジウムにレポートすることを決めていた。講演集の表1に纏めた。

活動目的 360°の旋回飛行記録の達成である。

OHP-2

飛行目的 ①日本人女性パイロットに適した新しい人力飛行機の旋回飛行方法の確立。②パイロットの体カトレーニングと操縦技術の向上。③機体開発に必要な構造系、推進系、駆動系、計測系等を含む新システムの開発 である。

ここで**エンジンとしての男女の性差**に触れておく。国内の優秀な男性パイロットは、アネロビックパワーで700Wを出力し、エアロビックパワーでは250Wを1時間以上持続する。女性では、それぞれが250W、180Wの数分間の持続がやっとである。圧倒的なパワーの差が、女性の人力飛行の困難な理由である。男性なら既に誰でも数100m飛べる時代ながら、女性では自力離陸にエネルギーの大半を消費することが重要である。

OHP-3

CHiCK-2000の開発ポイント

以下の項目について、開発・計測・訓練に取り組んだ。

OHP-4

- 1) **機体**は、超軽量化・超高剛性化・超高靱性化・超低出力化 を目指した。
- 2) **制御方法**は、日本人女性向けの新しい旋回飛行方法や上昇方法の開発 である。
- 3) **計測系**では、各種の計測システムの開発 である。
- 4) **パイロットの体力及び操縦トレーニング**に関してもデータ採取と解析に取り組んだ。

結果、3kgの計測装置を含む機体の完成重量は31kgで、我が国最大のアスペクト比43.7と相まって、飛行の必要パワーは世界最小の160Wを達成し、操縦性はソアラを凌ぐ軽快なレスポンスを獲得した。

OHP-5

講演集の表1に掲げた以外の開発・訓練項目を説明する。

機体の軽量化と高剛性化・高靱性化の実現

OHP-6

- ① **主翼**は、ハイアスペクト比に対応してストレススキン翼を開発した。構造効率に優れたこの構造は、従来に比べて同一重量で約10倍の曲げ剛性を確保した。
- ② **テールブーム**は、薄肉CFRPパイプの立体トラスとし、従来に比べて鉛直方向で約10倍、水平方向で5~6倍、捻りは約3倍の剛性を確保した。

- ③ コクピットは、CFRP 角パイプの平面フレームとし、丸パイプ構造に比べて、断面性能の向上と接合部の固定度の改善により、面内・面外とも数倍の剛性を確保した。

プロペラ

平面形状の改善でプロペラ効率は 93.8%に達した。スピナーも抗力低減に有効である。留意点に、ペダリングの脈動がブレード角に与える影響を解析し、製作への反映がある。ペダリングスキルの向上とブレードの加速・減速時の変形の把握で、実用上の効率が 2%向上した。

OHP-7

高速飛行の実現

主翼をハイアスペクト比化すると、同一面積では翼弦長が短くなり、レイノルズ数が低下し、空力性能が低下する。旋回飛行では、半径に比例してそれに勾配が生じる。旋回半径の内翼端でレイノルズ数 25 万を確保出来る毎秒 8m を定常速度とした。これは国内トップクラスの高速で、必要馬力の低減と相反する選択である。男性の機体に比べて主翼面積が小さい女性用人力機独特の難問で、重量と飛行速度、レイノルズ数の最適化がポイントである。

OHP-8

OHP-9

パイロットのフライトトレーニング

機体の高剛性化に伴い、ソアラーを凌ぐ操舵レスポンスを追求したので、フライトトレーニングもソアラーによった。20 フライト消化でソロフライト可能になった。シミュレーター・トレーニングも行った。“練土研チャレンジチーム”に鳥人間コンテスト専用のミュレーター[bird]をバージョンアップした“Bird for CHicK-2000”を開発して頂いた。開発目的はPIO対策である。これにより飛行特性が完璧に再現され、数回のシミュレーションで、離陸から着陸までの操縦技術を習得した。

OHP-10

これまでのレポートを振り返り、ポイントを述べる。

『女性パイロットによる人力飛行の現状と将来』では、新しい旋回飛行方法：**上反角旋回**の開発と制御手順、必要パワーを比較した。

OHP-11

『実用状態を考慮した空力特性の実験』や『実物翼の風洞実験』では、フィルム翼とソリッド翼に関して、被覆方法と仕上げ精度決定の風洞実験を行った。CLはタイプに差がなく、**表面の仕上げ精度がCDに依存する**ことを確認した。

『必要パワーの測定』や『伝達効率の測定』・『ペダリングに関する考察』では、実物コクピットを用いて、離陸時の必要パワーと伝達効率を測定した。**伝達効率はペダル回転数に依存し、90%を超えることも可能**なことが解った。**脈動の詳細**を明らかにし、**ロータリーペダリングの有効性**も確認した。

『“ジャンピング・クライム”法に関する考察』では、“ジャンピング・クライム”法を開発し、“必要パワーと持続時間”の観点から有効性を確認した。

OHP-12

『CFRP 部材の自作方法』では、軽量化と高剛性化に、CFRP 製の角パイプ、フラットバー、バルサハイブリッドプレート等の自作方法を開発した。CFRP 製の角パイプが簡単に製作可能になった。

『主翼の構造特性』や『応力外皮構造翼の開発』では、応力外皮構造の実物翼を用いてサイクル載荷試験を行ない、その特性を調べた。除荷後に残留歪みが生じることが解った。

『PIO に関する考察』や『安定性に関する考察』では、PIO で 3 回墜落・大破したことから、機体の柔軟性とペダル回転数を考慮し、安定性評価と運動解析を行ない、PIO の原因と対策を考察した。

飛行は、2000年11月4日、5日に行い、2日間とも1回ずつ飛行した。それ以後の飛行は中止している。4日が初飛行で、5日が最終飛行になった。中止の理由は、記録飛行で機体が結露水に覆われ、それが内部に及び、吸湿によってスチレンペーパーとバルサの弾性係数が低下し、飛行中の主翼の撓みが試験飛行を上回り、更に後日バルサにカビが発生したことによる。主翼内部に損傷の可能性が生じましたが、内部の検査が不可能で、安全を確認出来なかった。

OHP-13

以上を纏める。

今回の活動では、旋回飛行に挑戦できなかった。

PIO を経験し、対策に苦労したが、その可能性は掴めた。

次世代女性用人力機の要求性能に、①小型化、②更なる軽量化、③更なる高剛性・高靱性化、④更なる低出力化、⑤耐用飛行回数の増大、⑥エルロン装備が有る。回性能の追求にエルロンを装備すると、主翼の剛性の改善無しには、ダイバージェンスやエルロンリバーサルで制御不能に陥いる。機体構造の 2 次部材に発泡材を用いると、繰り返し応力や経時変化で仕上げ精度が低下する本格的なストレススキン構造の開発が高剛性化・高靱性化に繋がる反面、人力飛行機特有の PIO の直面も懸念される。

OHP-14

以上から、次世代の旋回飛行を考えると、自ずと機体像が見える。CHick-2000 は、半径 200m の緩旋回を目指したが、ストレススキン翼の開発で、小半径旋回の追及が可能になった。

次世代のストレススキン翼は、小半径旋回に欠かせない強力なエルロン装備を可能にする。旋回半径は 50~80m が目標である。女性にとっては大変な課題である。パワーで旋回するのではなく、パワーロス最小の高効率な旋回が目標である。

CHicK-2000 は SUPER-CHicK に進化するが、小半径旋回に対応して、

旋回制御は、 上反角旋回法とテーパーエルロンを併用する。

付加質量を含む慣性モーメントの減少には、 主翼スパンと面積の縮小で達成するが、それによる弊害も生じる。主翼面積の縮小には揚力尾翼の採用、スパン縮小によるアスペクト比の低下にはウイングレットの装備で対応する。

コクピットは、 旋回中の横方向の G に抵抗できる立体フレームとし、フレームから目障りなフロントパイプを廃止し、良好な視界、快適なペダリングと操縦性を確保する。

PI0 対策と脈動の減少には、 ペダル回転数を毎分 95~100 回転に高速化し、オーバルギヤを採用する。

テールブーム 立体トラスとストレススキンを併用して超高剛性化する。

製作上の問題であるが、 今回のストレススキンは、翼型の外側のみを GFRP 加工したが、今回は外皮の両面を加工したサンドイッチパネルとし、本格的なストレススキンを確立する。重量面では GFRP の加工技術を見直し、パネル重量を今回以下に抑える目処も立った。スキンはパネル化により剛性が数倍になり、スパーの軽量化が図れる。以上が SUPER-CHicK の概要である。チャンスがあれば挑戦したいと考えている。

エルロンの制御 であるが、下の図が正規の翼型で、迎角が 3 度である。上の図はエルロンを下げた状態で、リブの後半を 6 度下向きに折り曲げた図である。下の翼型と比べると相対的に迎角が 2 度増して、5 度の迎角が付いている。CL が約 20% 増加するが、CD はそれ以上に増加する。

話が逸れるが、鳥人間コンテストで使い込んだ古い主翼の後縁が反って、これとそっくりに変形しているのを見かける。

CL が大きくなるのでテスト飛行では一見浮きがよく、調子が良いように感じるが、CD は極端に増大している。フラップを下げて飛んでいると考えるべきだろう。調子いいと思っていたのに、パイロットが予定の半分くらいしか持たないのも当然である。後縁の変形でパワーロスが大きくなった翼は、距離飛行には使えない。注意を要する。

エルロン は下げるだけで揚力の不足を補い、上げて揚力減少には使わない。つまり、旋回半径の内側翼はツイストとエルロンの併用、外側翼はツイストのみで釣り合わせる。主翼のツイストとエルロン操舵の同調が課題である。

最後に この活動で、人力飛行機の奥深さに圧倒されつつも、自らの力で大空を飛ぶ新鮮な魅力を再認識できた。活動にご協力頂きました皆様とそのご家族に厚くお礼申し上げます。

以上